

В. В. ГЛАЗКО, В. В. КУХАРЬ, Ю. Г. САГИРОВ**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ДВУХУРОВНЕВОГО ЭЛАСТОМЕРНОГО КОМПЕНСАТОРА ВНЕЦЕНТРЕННОЙ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ «ПРЕСС-ШТАМП» И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕГО РАБОТЫ С ПОМОЩЬЮ МКЭ**

Обзор отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что на текущий момент подробно разработаны методики расчета эластомерных компенсаторов для устранения погрешностей системы «пресс-штамп», появляющихся в результате раскрытия С-образных станин прессового оборудования при приложении технологической нагрузки. В результате ранее проведенного патентного поиска была разработана классификация конструкций эластомерных компенсаторов. По принципу действия существующие конструкции таких компенсаторов были разделены на две основные группы: компенсаторы перекоса при раскрытии С-образных станин прессового оборудования и компенсаторы, выравнивающие давление в объеме прессуемого материала – адаптеры (для одноместных штампов) и эквалайзеры (для многоместных штампов). Выявлены упоминания о ряде неудачных попыток разработки механических и гидравлических компенсаторов внецентренной нагрузки. На основании вышесказанного можно утверждать, что на сегодня конструкции устройств, компенсирующих смещение центра давления штампа относительно оси ползуна, и, соответственно, методики их расчета отсутствуют. Целью работы является разработка принципа действия и эффективной конструкции эластомерного компенсатора внецентренной нагрузки системы «пресс-штамп». Для решения поставленной задачи проанализировано напряженно-деформированное состояние С-образной станины кривошипного пресса, определен характер деформаций при смещении центра давления штампа относительно вектора технологической силы. Проанализирован характер изменения напряженно-деформированного состояния эластомерного элемента, ограниченного двумя абсолютно жесткими плитами, при приложении сжимающей силы перпендикулярно к этим плитам напротив характерных точек сечения эластомера. Разработан принцип параллельного переноса вектора технологической силы в центр давления штампа методом двойного преломления вектора этой силы. Разработана конструкция двухуровневого компенсатора смещения центра давления штампа (внецентренной нагрузки в системе «пресс-штамп»). Изготовлены и испытаны натурные модели поперечного сечения двухуровневого компенсатора внецентренной нагрузки, подтвердившие возможность параллельного переноса вектора технологической силы в центр давления штампа. С помощью программного комплекса SolidWorks разработана компьютерная твердотельно-деформируемая модель, демонстрирующая возможность параллельного переноса вектора технологической силы в центр давления штампа с помощью двухуровневого эластомерного компенсатора внецентренной нагрузки в системе «пресс-штамп».

Ключевые слова: компенсатор, классификация, эластомер, внецентренная нагрузка, пресс, штамп.

В. В. ГЛАЗКО, В. В. КУХАРЬ, Ю. Г. САГИРОВ**РОЗРОБКА ПРИНЦИПУ ДІЇ ДВОРІВНЕВОГО ЕЛАСТОМІРНОГО КОМПЕНСАТОРА ПОЗАЦЕНТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ «ПРЕС-ШТАМП» І МОДЕЛЮВАННЯ ЙОГО РОБОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ МКЕ**

Огляд вітчизняних і закордонних літературних джерел показує, що на поточний момент детально розроблені методики розрахунку еластомерних компенсаторів для усунення похибок системи «прес-штамп», що з'являються внаслідок розкриття С-подібних станин пресового устаткування при додатку технологічного навантаження. В результаті раніше проведеного патентного пошуку була розроблена класифікація конструкцій еластомерних компенсаторів. За принципом дії, існуючі конструкції таких компенсаторів були поділені на дві основні групи: компенсатори перекоосу при розкритті С-подібних станин пресового обладнання і компенсатори, які вирівнюють тиск в обсязі пресованого матеріалу – адаптери (для одномісних штампів) і еквалайзери (для багатомісних штампів). Виявлено згадки про низку невдалих спроб розробки механічних та гідравлічних компенсаторів позацентровому навантаженню. Проаналізовано характер зміни напружено-деформованого стану еластомерного елемента, обмеженого двома абсолютно жорсткими плитами, при додатку стискаючої сили перпендикулярно до цих плит на проти характерних точок перетину еластомеру. Розроблено принцип паралельного перенесення вектора технологічної сили в центр тиску штампа методом подвійного преломлення вектора цієї сили. Розроблено конструкцію дворівневого компенсатора зміщення центру тиску штампа (позацентровому навантаженню в системі «прес-штамп»). Виготовлені та випробувані натурні моделі поперечного перерізу дворівневого компенсатора позацентрового навантаження підтвердили можливість паралельного перенесення вектора технологічної сили в центр тиску штампа. За допомогою програмного комплексу SolidWorks розроблена комп'ютерна твердотільно-деформувана модель, що демонструє можливість паралельного перенесення вектора технологічної сили в центр тиску штампа за допомогою дворівневого еластомерного компенсатора позацентровому навантаженню в системі «прес-штамп».

Ключові слова: компенсатор, класифікація, еластомер, позацентровий навантаження, прес, штамп.

V. V. GLAZKO, V. V. KUKHAR, Y. G. SAHIROV**DEVELOPMENT OF THE OPERATING PRINCIPLE OF A TWO-LEVEL ELASTOMERIC COMPENSATOR FOR ECCENTRIC LOAD IN THE "PRESS-DIE" SYSTEM AND MODELING OF ITS OPERATION USING FEM**

A review of domestic and foreign literary sources shows that at present, methods for calculating elastomeric compensators have been developed in detail to eliminate the errors of the «press-die» system, which appear as a result of opening the C-type frame of pressing equipment when technological load is applied. As a result of a previously conducted patent search, a classification of the structures of elastomeric compensators was developed. According to the principle of operation, the existing structures of such compensators were divided into two main groups: skew compensators when opening C-type frame of pressing equipment and compensators equalizing the pressure in the volume of the pressed material – adapters (for single die) and equalizers (for multi-seat die). Revealed mention of a number of unsuccessful attempts to develop mechanical and hydraulic compensators for off-center load. Based on the above, it can be argued that at present the design of devices that compensate for the displacement of the center of pressure of the die relative to the axis of the slide, and, accordingly, there are no methods for calculating them. The purpose of research work is to develop the principle of operation and the effective design of an elastomeric compensator for off-center load of the «press-die» system. To solve the problem, the stress-strain state of the C-type frame of a crank press was analyzed, the nature of the deformations when the center of the punch pressure shifted relative to the technological force vector was determined. The nature of the change in the stress-strain state of an elastomeric element bounded by two absolutely rigid plates is analyzed when a compressive force is applied perpendicular to these plates opposite the characteristic points of the elastomer cross section. The principle of parallel transfer of the technological force vector to the center of the pressure of the punch was developed by the method of double refraction of the vector of this force. The design of a two-level compensator for the displacement of the center of the pressure of the die (eccentric load in the system «press-die») has been developed. Full-scale models of cross-section of a two-level compensator of off-center load, which confirmed the possibility of parallel transfer of the technological force vector to the center of the die pressure, were manufactured and tested. Using the SolidWorks software package, a computer-developed solid-state-deformable model has been developed that demonstrates the possibility of parallel transfer of the technological force vector to the center of the punch pressure using a two-level elastomeric compensator of off-center load in the «press-die» system.

Keywords: compensator, classification, elastomer, eccentric load, press, die.

Введение. Одним из методов повышения производительности штамповки в условиях массового производства является применение штампов последовательного действия [1–3]. Совмещение ряда технологических операций в таких штампах позволяет существенно снизить вспомогательное время и повысить качество изделий [4, 5]. Штампы последовательного действия, прежде всего, эффективны при штамповке симметричных деталей, когда центр давления штампа для каждой операции совпадает с осью ползуна прессы. Примерами таких симметричных изделий могут служить емкости, получаемые совмещением операций вырубки и вытяжки, скобы и контакты, получаемые совмещением вырубки и гибки и т.д. Однако не все штампованные детали, изготавливаемые в условиях массового производства, имеют симметричную форму. Применение штампов последовательного действия при производстве таких деталей сопряжено с необходимостью значительного увеличения расчетной жесткости направляющих элементов. Причиной этого является невозможность совмещения центров давления штампа для каждой операции с осью ползуна прессы, что вызывает повышенный неравномерный износ элементов системы «пресс-штамп» [6]. При этом в боковых стойках станин прессового оборудования и направляющих элементах штамповой оснастки наблюдается асимметричность напряженно-деформированного состояния [7]. Это может привести к появлению трещин со стороны штампового пространства прессы в наиболее опасном сечении более нагруженной стойки, в сторону которой происходит смещение внецентренной нагрузки. Кроме того, упругие деформации системы «пресс-штамп», еще при докритических значениях приводят к росту паразитных нагрузок, из-за которых повышается износ направляющих и рабочих элементов штамповой оснастки, растет процент брака штампуемых изделий. Снижение влияния эксцентриситета центра давления штампа относительно оси ползуна на качество штамповки путем значительного увеличения жесткости системы «пресс-штамп» приводит к росту металлоемкости штамповой оснастки. Связанное с этим увеличение габаритов оснастки требует применения прессового оборудования с завышенным, относительно расчетного, номинальным усилием и типоразмером. Это негативно отражается на себестоимости и может свести к нулю экономический эффект от внедрения штампов последовательного действия в производственных условиях. Как видно из вышесказанного, внедрение эффективной конструкции компенсатора внецентренной нагрузки в системе «пресс-штамп» позволяет снизить себестоимость штамповки несимметричных деталей на штампах последовательного действия. Прежде всего можно ожидать снижения затрат на штамповую оснастку и ее ремонт, а также расходов на ремонт и содержание оборудования (РСЭО). Кроме того, частичное снижение или полное устранение паразитных нагрузок, появляющихся из-за несоосности действующих сил и направляющих элементов в системе «пресс-штамп», положительно скажется на снижении потребления электрической энергии.

Анализ последних исследований и цель работы. Обзор отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что на текущий момент подробно разработаны методики расчета

эластомерных компенсаторов для устранения погрешностей системы «пресс-штамп», появляющихся в результате раскрытия С-образных станин прессового оборудования при приложении технологической нагрузки. В результате проведенного патентного поиска была разработана классификация конструкций эластомерных компенсаторов [8]. По принципу действия существующие конструкции таких компенсаторов были разделены на две основные группы: компенсаторы перекоса при раскрытии С-образных станин прессового оборудования и компенсаторы, выравнивающие давление в объеме прессуемого материала – адаптеры (для одностенных штампов) и эквалайзеры (для многостенных штампов). Выявлены упоминания о ряде неудачных попыток разработки механических и гидравлических компенсаторов внецентренной нагрузки [9]. На основании вышесказанного можно утверждать, что на сегодня конструкции устройств, компенсирующих смещение центра давления штампа относительно оси ползуна, и, соответственно, методики их расчета отсутствуют.

Целью работы является разработка принципа действия, эффективной конструкции эластомерного компенсатора внецентренной нагрузки системы «пресс-штамп», а также моделирование его работы с помощью МКЭ.

Материалы исследований. Анализ НДС С-образной станины кривошипного прессы мод. КД 2322Е. Схема смещения центра давления штампа показана на примере наклоняемого прессы с открытой станиной модели КД 2322Е рис. 1, где: P – сила штамповки; R – реакция центра давления штампа; e – эксцентриситет приложения силы штамповки относительно центра давления штампа; 1 – ползун прессы; 2 – штамп. Как показывает представленная схема, сила штамповки и сила реакции центра давления штампа разнонаправлены и параллельны.

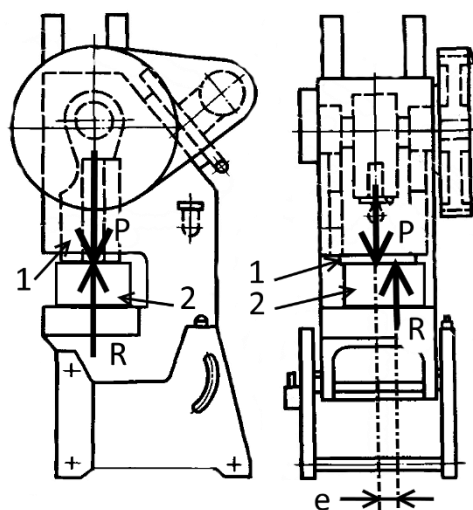


Рис. 1 – Схема смещения центра давления штампа

напряженно-деформированного состояния С-образной станины производился методом внецентренного сжатия [10–12] и методом конечных элементов [13, 14]. Характер деформаций наклоняемой С-образной части станины прессы КД2322Е при

совмещении технологической силы и центра давления штампа представлено на рис. 2, а характер деформаций при действии внецентренной силы – на рис. 3.

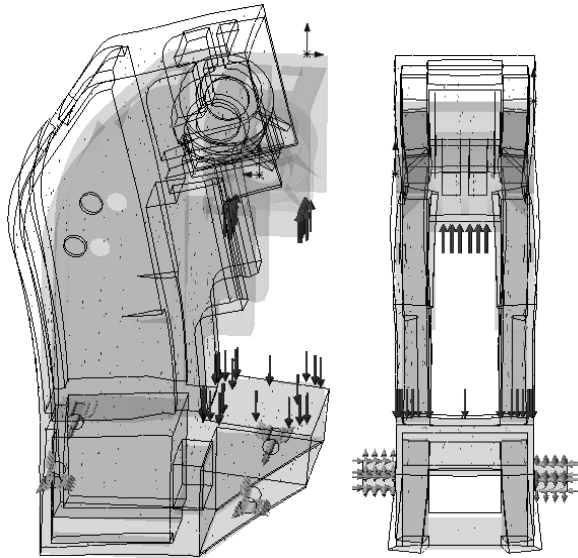


Рис. 2 – Характер деформаций наклоняемой С-образной части станины пресса КД2322Е при совмещении технологической силы и центра давления штампа

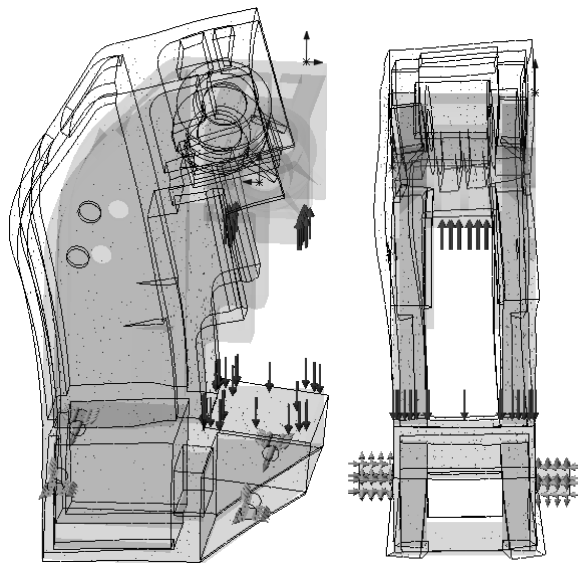


Рис. 3 – Характер деформаций наклоняемой С-образной части станины пресса КД2322Е при действии внецентренной силы

Произведенный анализ НДС позволяет утверждать, что несоосность вектора технологической силы и центра давления штампа приводит к значительной асимметрии деформаций рассматриваемой станины. Следовательно, для выравнивания параметров НДС необходимо каким-то образом обеспечить соосность центра давления штампа в момент приложения заданной технологической силы на ось, совпадающую с осью ползуна. После такой компенсации деформации станины примут вид, аналогичный показанному на рис. 2.

Анализ НДС эластомерного элемента, ограниченного двумя абсолютно жесткими плитами. Для последующей разработки принципа действия компенсатора, обеспечивающего параллельный перенос силы реакции центра давления штампа, был проанализирован характер НДС одинарного эластомерного упругого элемента произвольного сечения. Приложение сжимающих сил вызовет деформацию эластомера, что приведет к появлению равных, соосных сжимающим, сил упругости, стремящихся вернуть его в исходное состояние. Для корректного анализа были сделаны следующие допущения: эластомерный элемент является плоским и ограничен в горизонтальной плоскости двумя абсолютно жесткими параллельными плитами, его материал изотропен, сжимающие силы приложены строго перпендикулярно поверхности ограничивающих плит. Исходя из принятых допущений, можно считать, что данная конструкция находится в состоянии устойчивого равновесия независимо от величины и эксцентриситета внецентренной нагрузки до достижения максимальных напряжений в сечении эластомера, равным допускаемым для выбранного материала. Далее рассмотрим типовые деформации и эпюры напряжений, появляющихся в результате приложения сжимающих сил в разных характерных точках горизонтального сечения эластомера.

При приложении сжимающей нагрузки P_c напротив центра тяжести C_t горизонтального сечения элемента, характер деформации, реакция в виде распределенной нагрузки с результирующей силой упругости P_y и эпюра напряжений представлены на рис. 4. При этом параллельность верхней и нижней плит сохранится независимо от величины прикладываемой нагрузки.

При приложении сжимающей нагрузки вне ядра сечения (рис. 5.), часть сечения будет работать на сжатие, а часть на растяжение, что приведет к потере контакта горизонтальных поверхностей эластомера с ограничивающими плитами. Следовательно, приложение сжимающей нагрузки вне ядра сечения снизит несущую (нагружаемую) площадь и увеличит угол наклона между ограничивающими плитами пропорционально сжимающим силам.

При приложении сжимающей нагрузки внутри ядра сечения эластомерного элемента, напряжения по сечению будут иметь один знак, т.е. будут сжимающими (рис. 6). При этом, угол наклона между ограничивающими плитами будет увеличиваться прямо пропорционально сжимающим силам. Анализ эпюры сжимающих напряжений для этого случая, позволяет сделать вывод о том, что допустимый угол поворота плит в результате внецентренного нагружения, зависящий от величины допускаемого сжимающего напряжения для материала эластомера, увеличивается пропорционально эксцентриситету прикладываемой нагрузки в границах ядра сечения.

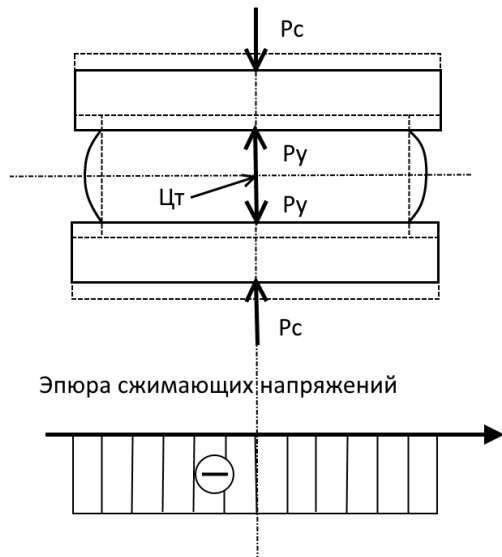


Рис. 4 – Сжатие эластомерного элемента в центре тяжести сечения

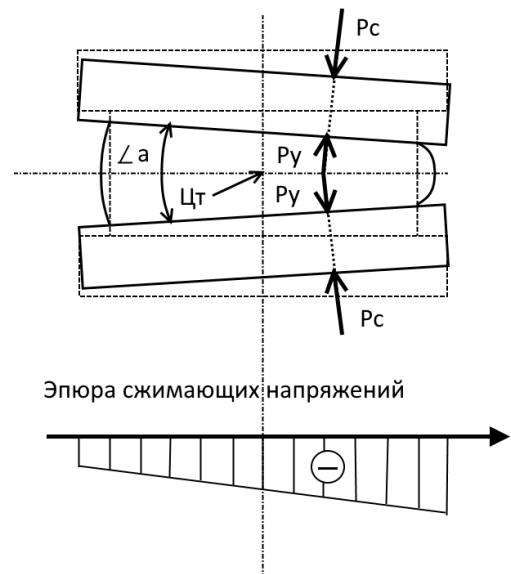


Рис. 6 – Сжатие эластомерного элемента в точке внутри ядра сечения

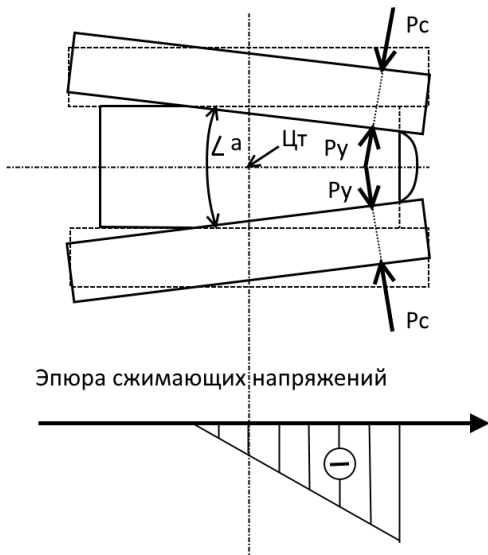


Рис. 5 – Сжатие эластомерного элемента в точке вне ядра сечения

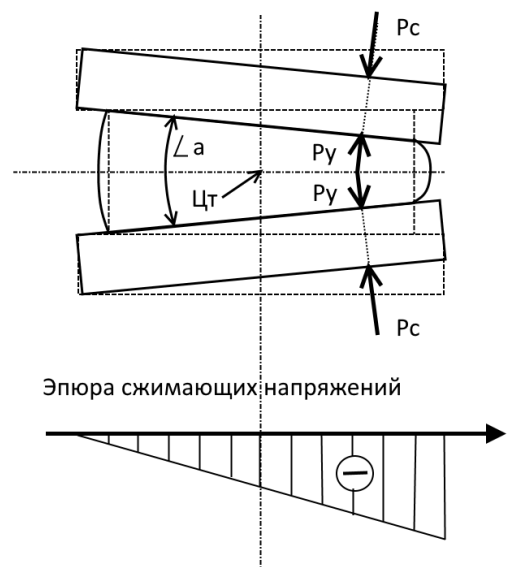


Рис. 7 – Сжатие эластомерного элемента в точке контура ядра сечения

Приложение сжимающих сил напротив точки, соответствующей контуру ядра сечения эластомера (рис. 7) определит положение нейтральной линии, проходящей по касательной к внешнему контуру сечения упругого элемента. В этом случае угол поворота ограничивающих плит будет максимально возможным при условии сохранения полного контакта горизонтальных поверхностей эластомера с этими плитами.

Анализ характера напряженно-деформированного состояния одинарного эластомерного упругого элемента, замкнутого между двумя абсолютно жесткими параллельными плитами, при приложении сжимающих сил в характерных точках его горизонтального сечения, позволяет сделать следующие выводы:

1. При приложении сжимающих сил в пределах ядра сечения, несущая площадь каждого эластомерного элемента, воспринимающая распределенную сжимающую нагрузку, не меняется и соответствует его общей площади.
2. Изменение направления вектора сжимающей силы прямо пропорционально ее величине
3. Внецентренно сжатый эластомерный элемент, в рассматриваемой конструкции, имеет свойство

преломлять вектор приложенной сжимающей нагрузки на угол, равный углу между ограничивающими его двумя абсолютно жесткими плитами.

4. Плоскостью преломления вектора внецентренной нагрузки в рассматриваемой конструкции является плоскость, на которой лежит биссектриса угла между ограничивающими эластомерный элемент двумя абсолютно жесткими плитами.

Разработка принципа действия и конструкции эластомерного компенсатора внецентренной нагрузки. Внецентренная нагрузка в системе «пресс-штамп» связана с отклонением от соосности приложенной технологической силы и реакции центра давления штампа на текущем переходе или операции. Следовательно, суть компенсации внецентренной нагрузки состоит в параллельном переносе технологической силы в точку центра давления штампа. При этом необходимо выполнение условия равновесия сил и моментов конструкции компенсирующего устройства в упруго-деформированном состоянии для исключения действия соответствующих паразитных нагрузок в системе «пресс-штамп».

Исходя из сделанных ранее выводов на основании анализа НДС внецентренно нагруженного одинарного эластомерного элемента, ограниченного двумя абсолютно жесткими плитами, можно предположить, что параллельный перенос вектора технологической силы в точку центра давления штампа может быть реализован при выполнении определенных условий. Схема конструкции, отвечающая этим условиям показана на рис. 8, где цифрами обозначены: 1, 5 – внешние абсолютно жесткие плиты; 2, 4 – зеркально развернутые эластомерные упругие элементы; 3 – коннектор; буквами обозначены α – угол поворота между ограничивающими плитами и коннектором, P_T – технологическая сила; $P_{упр}$ – сила упругости; $R_{цдш}$ – реакция центра давления штампа; e_1 , e_3 – эксцентриситет, компенсируемый эластомерными элементами; e_2 – эксцентриситет, компенсируемый коннектором. Коннектор – промежуточная плита двухуровневого эластомерного компенсатора, усиливающая эффект компенсации внецентренной нагрузки и обеспечивающая полноту передачи распределенных нагрузок между смежными несущими плоскостями эластомерных элементов.

Следует отметить, что при совпадении направления векторов силы упругости верхнего и нижнего эластомерных элементов в точке, лежащей в среднем сечении промежуточной плиты, компенсация внецентренной нагрузки, приложенной к одной из внешних плит, происходит без появления паразитных крутящих моментов на внешних плитах.

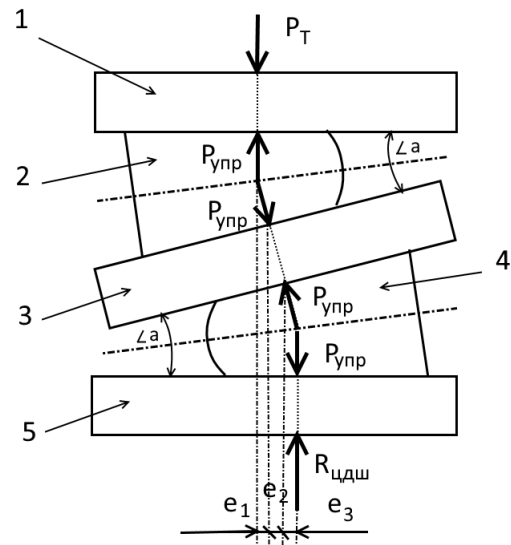


Рис. 8 – Схема конструкции двухуровневого компенсатора внецентренной нагрузки

Проверка работоспособности конструкции компенсатора внецентренной нагрузки на натурных моделях его поперечного сечения

Проверка работоспособности разработанной конструкции двухуровневого эластомерного компенсатора производилась на действующих моделях (прототипах).

В первой действующей модели (рис. 9) вместо эластомерных элементов применялся набор равноупругих пружин, ограничивающие плиты и коннектор имитировались жесткими балками. Сжимающая сила прикладывалась перпендикулярно верхней балке. Имитация смещенной нагрузки, передаваемой на центр давления штампа, фиксировалась по сжатию симметрично расположенных под нижней балкой парой пружин. Параллельность верхней и нижней балок фиксировалась по показаниям левой и правой шкалам, градуированным на шаг 1 мм. Компенсируемый эксцентриситет для данной модели по рис. 2.6 – величина смещения нажимного стержня влево от обозначенной оси симметрии конструкции. Значения эксцентриситета, скомпенсированные данной моделью, достигали 10 мм. Как показали многочисленные эксперименты, рассматриваемая модель имеет следующий недостаток: при применении разных равноупругих пружинных наборов вместо эластомерных элементов практически невозможно выявить нагружаемую границу ядра сечения. В остальном первая модель подтвердила работоспособность разработанной конструкции.

Во второй модели пружинные наборы, имитирующие упругие элементы, были заменены на эластомеры из материала, обладающего малым модулем упругости (рис. 10).

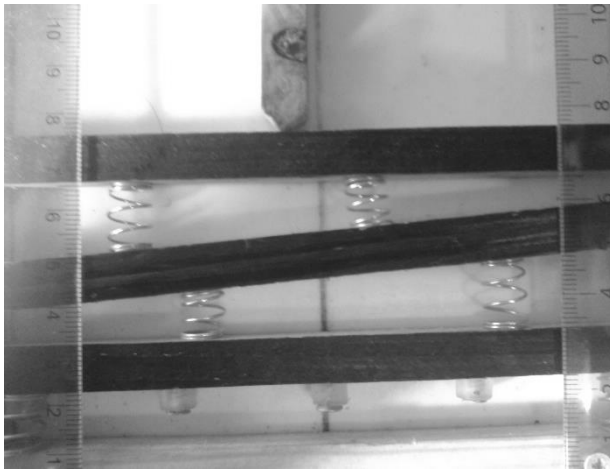


Рис. 9 – Пружинная модель вертикального сечения двухуровневого эластомерного компенсатора внецентричной нагрузки

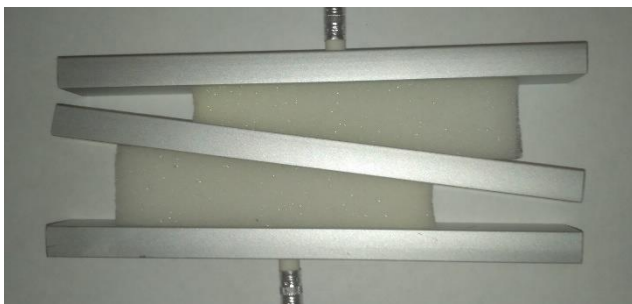


Рис. 10 – Эластомерная модель вертикального сечения двухуровневого компенсатора с малым коннектором

Вторая модель, как и первая, при определенных условиях находится в состоянии упруго-деформированного устойчивого равновесия при компенсируемом эксцентриситете приложенных к внешним балкам сжимающих сил. Предположение о свойстве коннектора многократно увеличивать величину компенсируемого эксцентриситета, сделанное ранее при анализе схемы рис. 8, наглядно подтверждается при эксцентричном сжатии второй модели при сохранении устойчивого равновесия двухуровневого компенсатора в упруго-деформированном состоянии (рис. 11).

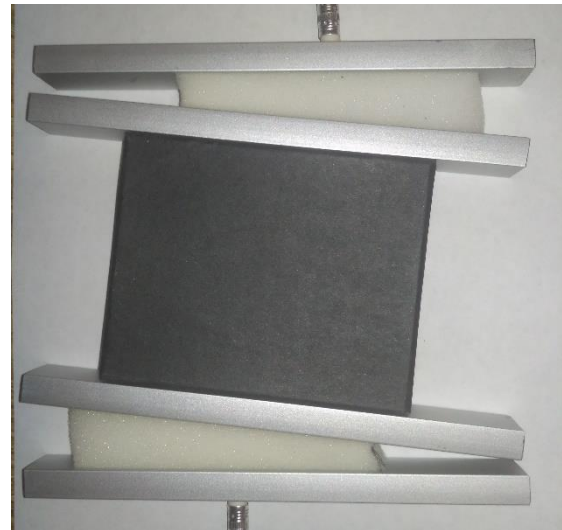


Рис. 11 – Эластомерная модель вертикального сечения двухуровневого компенсатора с развитым коннектором

Моделирование конструкции двухуровневого эластомерного компенсатора методом конечных элементов. Для анализа напряженного состояния двухуровневого эластомерного компенсатора внецентричной нагрузки с помощью программного комплекса SolidWorks разработана компьютерная твердотельно-деформируемая модель в масштабе 1:1 (рис. 12). Модель упрощена по сравнению с реальным объектом: отсутствует хвостовик на верхней плите, отсутствует базовая плита, контактирующая со штампом и отсутствует система направляющих, по которым происходит смещение плавающей плиты по базовой плите к центру давления штампа. В модели сохранены основные особенности: форма верхней и плавающей плит, форма коннектора, форма эластомерных элементов. Модель двухуровневого эластомерного компенсатора после деформации от приложенной технологической нагрузки представлена на рис. 13. Конечноэлементная сетка двухуровневого эластомерного компенсатора после приложения технологической силы представлена на рис. 14.

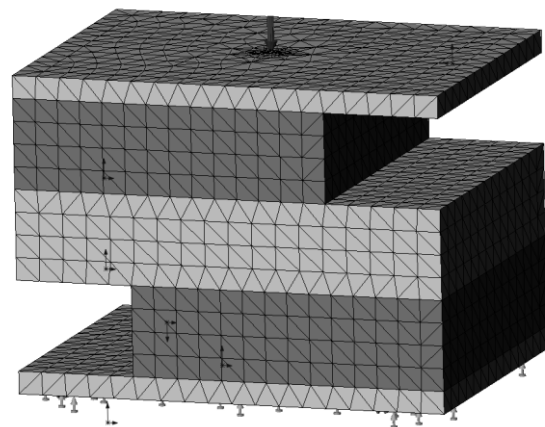


Рис. 12 – Модель двухуровневого эластомерного компенсатора до приложения технологической силы

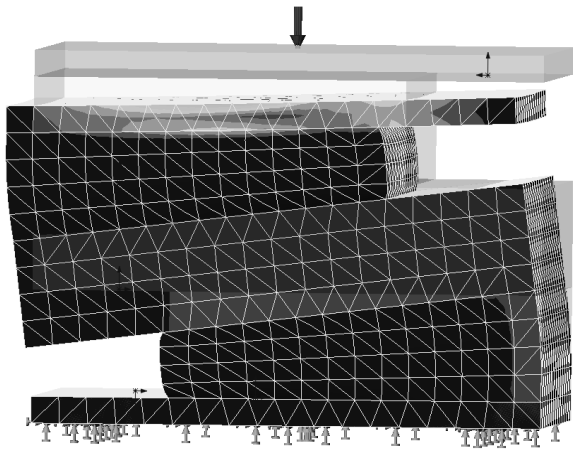


Рис. 13 – Модель двухуровневого эластомерного компенсатора после приложения технологической силы

Моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния двухуровневого эластомерного компенсатора внецентренной нагрузки позволяют построить эпюры эквивалентных напряжений, распределения значений коэффициента запаса прочности, перемещений в модели [13, 14].

В приложении Simulation построены эпюры распределения эквивалентных напряжений (von Mises) в модели, что позволяет с достаточной точностью оценить работоспособности конструкции. В отличие от компонентов напряжения эквивалентное напряжение не имеет направления. Оно полностью определяется величиной, выраженной в единицах напряжения. Чтобы рассчитать коэффициенты запаса прочности в различных точках, Simulation использует Критерий текучести von Mises, который точно определяет то, что материал начинает переходить в состояние текучести в какой-то точке, когда эквивалентное напряжение достигает предела текучести материала. Simulation позволяет:

1. «Нарисовать» и создать список перемещений, сил реакций, контактного давления, нагрузок и напряжений в разных направлениях. Например, для эпюр напряжений имеются следующие варианты: напряжение в любом направлении, главные напряжения, касательные напряжения и интенсивность напряжений.

2. Создать эпюры напряжений и выполнить сечения в модели для просмотра результатов в скрытых участках. Имеются инструменты для плоского, цилиндрического и сферического разреза.

3. Для обеспечения правильности проектирования и отображения эпюры распределения запаса прочности можно использовать Design Check Wizard. В Simulation имеется четыре различных критерия разрушения для пластичных и хрупких материалов.

4. Графически отобразить результаты в любом направлении.

5. Обработать результаты частотного, продольного изгиба, термического, нелинейного, испытания на ударную нагрузку и анализа усталости.

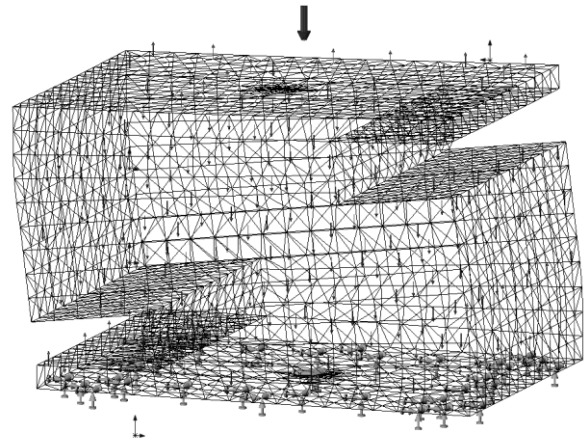


Рис. 14 – Конечноеэлементная сетка двухуровневого эластомерного компенсатора после приложения технологической силы

Модуль SolidWorks Animator также являющийся частью программного комплекса SolidWorks позволяет создать анимации на основе ранее разработанных 3D моделей.

Выводы

1. Проанализировано НДС С-образной станины кривошипного пресса, определен характер деформаций при смещении центра давления штампа относительно вектора технологической силы.

2. Проанализирован характер изменения НДС эластомерного элемента, ограниченного двумя абсолютно жесткими плитами, при приложении сжимающей силы перпендикулярно к этим плитам напротив характерных точек сечения эластомера.

3. Разработан принцип параллельного переноса вектора технологической силы в центр давления штампа методом двойного преломления вектора этой силы.

4. Разработана конструкция двухуровневого компенсатора смещения центра давления штампа (внецентренной нагрузки в системе «пресс-штамп»).

5. Изготовлены и испытаны натурные модели поперечного сечения двухуровневого компенсатора внецентренной нагрузки, подтвердившие возможность параллельного переноса вектора технологической силы в центр давления штампа.

6. С помощью программного комплекса SolidWorks разработана компьютерная твердотельно-деформируемая модель, демонстрирующая возможность параллельного переноса вектора технологической силы в центр давления штампа с помощью двухуровневого эластомерного компенсатора внецентренной нагрузки в системе «пресс-штамп».

Список литературы

1. *Справочник технолога – машиностроителя*. В 2-х т. Т 1 / Под ред. Дальского А.М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сусллова А.Г. – 5-е изд., исправл. – Москва: Машиностроение-1, 2003, 912 с.
2. Зубцов М.Е. *Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология*

- обработки металлов давлением». 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. 432 с.
3. Комаров О.С., Ковалевский В.Н., Чаус А.С. и др. *Технология конструкционных материалов: учебник* / под общ. ред. Комарова О.С. Минск: Новое знание, 2005. 560 с. ISBN 985-475-087-6.
 4. Чудаков Е.А. и др. *Машиностроение. Энциклопедический справочник в 15-ти т. Т.6. Технология производства машин* / Под ред. Чудакова Е.А.; отв. ред. Кован В.М. Москва: Машгиз, 1947. 549 с.
 5. Романовский В.П. *Справочник по холодной штамповке*. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1979. 520 с.
 6. Мягков В.Д. *Допуски и посадки: Справочник*. Изд. 4-е перераб. и доп. М.-Л.: Машиностроение, 1966., 770 с.
 7. Кухарь В.В., Анищенко А.С., Глазко В.В. Расчет напряжений в станинах кривошипных прессов открытого типа в условиях внецентренного приложения силы штамповки относительно оси ползуна. *Пластична деформація металів: Колективна монографія*. Дніпр: НметАУ, 2017. С. 271-281. ISBN 978-966-291-124-8
 8. Кухарь В.В., Глазко В.В., Анищенко А.С. Разработка классификации эластомерных компенсаторов внецентренной нагрузки системы "пресс-штамп" *Вісник НТУ "ХПИ": зб. наук. праць. Темат. вып.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії*. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 36 (1258). С. 29-37.
 9. Корнилова А.В. *Разработка рациональных конструкций станин прессов открытого типа: автореф. дисс. на соискание нач. зв. Канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением»*. Москва, 1992. 24 с.
 10. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С.; *Опір матеріалів: Підручник* / за ред. Писаренка Г. С. – 2-ге вид., допов. і переробл. К.: Вища шк., 2004. – 655 с.
 11. Михайлов А.М. *Сопrotivление материалов: Учебник для техникумов*. М.: Стройиздат, 1989. 351 с. ISBN 5-274-00500-4.
 12. Ободовский Б.А., Ханин С.Е. *Сопrotivление материалов в примерах и задачах: Учеб. пособие*. , 2-е издание исправл. и доп. – Харьков: «ХГУ», 1968. 384 с.
 13. Сагиров Ю.Г., Суглобов В.В., Лоза Е.А. Долговечность металлоконструкций мостовых кранов и пространственное моделирование. *Подъемно-транспортная техника*. Одесса, 2010. №4. С. 36-45.
 14. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. *SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике*. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. 800 с.
 - materials: textbook] / pod obshch. red. Komarova O.S. Minsk: Novoye znanivе, 2005. 560 s. ISBN 985-475-087-6.
 4. Chudakov Ye.A. i dr. *Mashinostrovenivе. Entsiklopedicheskiv spravochnik v 15-ti t. T.6. Tekhnologiya proizvodstva mashin* [Mechanical Engineering. Encyclopedic reference book in 15 tons. T.6. Production technology of machines] / Pod red. Chudakova Ye.A., otv. red. Kovan V.M. Moscow.: Mashgiz, 1947. 549 p.
 5. Romanovskiy V.P. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Handbook of cold stamping.]. 6-ye izd., pererab. i dop. L.: Mashinostrovenivе. Leningr. Otd-nivе, 1979. 520 s.
 6. Myagkov V.D. *Dopuski i posadki: Spravochnik* [Tolerances and landing: a Handbook]. Izd. 4-ve pererab. i dop. Moscow.-Leningrad: Mashinostrovenivе, 1966., 770 s.
 7. Kukhar V.V., Anishchenko A.S., Glazko V.V. Raschet naprvazheniv v staniakh krivoshipnykh pressov otkrytogo tipa v usloviyakh vnetsentrennogo prilozeniya sily shtampovki otnositel'no osi polzuna [Calculation of stresses in the beds of open-type crank presses under the conditions of the eccentric application of the stamping force relative to the axis of the slide]. *Plastichna deformatsiya metaliv : Kolektivna monografiya*. Dnepr: NmetAU, 2017. P. 271-281. ISBN 978-966-291-124-8
 8. Kukhar V.V., Glazko V.V., Anishchenko A.S. Razrabotka klassifikatsii elastomernykh kompensatorov vnetsentrennoy nagruzki sistemy "press-shtamp" [Development of the classification of elastomeric compensators for off-center load of the system "Press stamp"]. *Visnik NTU "KHPi": zb. nauk. prats'. Temat vvp.: Innovatsiyni tekhnologii ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgii*. Kharkiv: NTU «KHPi», 2017. No 36 (1258). P. 29-37.
 9. Kornilova A.V. *Razrabotka ratsional'nykh konstruktiv stanih pressov otkrytogo tipa: avtoref. diss. na soiskaniye nach. zv. Kand.tekhn.nauk: spets. 05.03.05 «Protsesty i mashiny obrabotki davleniyem»* [Development of rational designs for open press presses: abstract of a thesis candidate eng. sci. diss.: spec. 05.03.05 "Processes and Machines for Pressure Treatment"]. Moscow, 1992. 24 p.
 10. Pisarenko G.S., Kvitya O.L., Umanskiy Ye.S. *Opir materialiv: Pidruchnik* [Material resistance: textbook]. 2-ge vid., dopov. i pererobl / za red. Pisarenka G.S. – Kiev: Vishcha shk., 2004. 655 s.
 11. Mikhaylov A.M. *Soprotivleniye materialov : Uchebnik dlya tekhnikumov* [Material resistance: textbook for technical schools]. Moscow: Stroyizdat, 1989. 351 p. ISBN 5-274-00500-4.
 12. Obodovskiy B.A., Khanin S.Ye. *Soprotivleniye materialov v primerakh i zadachakh: Ucheb. posobie* [Material resistance in examples and tests]. 2-ye izdaniye ispravl. i dop. Khar'kov: «KHGU», 1968. 384 p.
 13. Sahirov Y.G., Suglobov V.V., Loza Ye.A. *Dolgovechnost' metallokonstruktivnykh mостovykh kranov i prostranstvennoye modelirovaniye* [Durability of metal structures of bridge cranes and spatial modeling Lifting and transport equipment]. *Podyomno-transportnaya tekhnika*. Odessa, 2010. No 4. P. 36-45.
 14. Alyamovskiy A.A., Sobachkin A.A., Odintsov E.V. *SolidWorks. Komp'yuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike* [SolidWorks. Computer modeling in engineering practice]. SPb.: BVKH-Peterburg, 2005. 800 p.

References (transliterated)

Поступила (received) 05.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Глазко Владислав Владимирович (Glazko Vladislav Vladimirovich) – аспірант кафедри обробки металів тисненням, Державне вище навчальне заклад «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1167-9904>; e-mail: glazkovlad@email.ua.

Кухарь Владимир Валентинович (Kukhar Vladimir Valentinovich) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обробки металів тисненням, Державне вище навчальне заклад «Приазовський Державний Технічний Університет», г. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>; e-mail: kvv.mariupol@gmail.com

Сагиров Юрий Георгиевич (Sagirov Yuri Georgievich) – кандидат технічних наук, доцент кафедри підйомно-транспортних машин і деталей машин; декан факультета мовної і інженерної підготовки Державне вище навчальне заклад «Приазовський Державний Технічний Університет»; г. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>; e-mail: sagirov1978@ukr.net.